

2. Теория теплопередачи и тепловые расчеты электрических печей: учебник для техникумов / Л.С. Кацевич [и др.]; под ред. В.П. Цишевского. – М.: «Энергия», 1977. – 303 с.;

3. Красновский Е.Е. Решение прикладных задач термомеханики с применением программного комплекса ANSYS: Метод. указания к выполнению лабораторных работ / Под ред. В.С. Зарубина. – М.: МГТУ им Н. Э. Баумана, 2008. – 88 с.

УДК 620.91

Н. В. Щукина, Н. Б. Лошкарев, В. В. Лавров, Н. А. Спирин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕООРУЖЕНИЕ И ТЕПЛОВАЯ РАБОТА НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ТРУБОПРОКАТНОГО ЦЕХА

Abstract

В докладе рассмотрены конструкция и тепловая работа действующей на ПАО «ЧТПЗ» методической печи для нагрева трубных заготовок перед прошивкой. Проанализированы проблемы, возникающие при работе теплового агрегата. Для оценки эффективности существующей системы отопления составлен тепловой баланс методической печи. В ходе анализа результатов расчетных исследований выявлены недостатки существующих печных систем и узлов. С целью улучшения качества нагрева металла предлагается на месте существующей печи установить проходную нагревательную печь, отапливаемую с помощью регенеративных горелочных устройств и с системой транспортировки металла, обеспечивающей более равномерный нагрев, как по длине, так и по толщине заготовок. При реализации предложенных мероприятий ожидается существенный экономический эффект, что подтверждается приведенным в статье тепловым балансом проходной печи. Кроме того, для визуализации распределения температурных и газодинамических потоков внутри рабочего пространства предлагаемой проходной печи было проведено компьютерное моделирование, позволяющее оценить равномерность нагрева металла.

Ключевые слова: методическая нагревательная печь; регенеративная горелочное устройство; энергосбережение; проходная печь; тепловой баланс.

Abstract

The report deals with the design and thermal operation of a methodical furnace operating at PJSC "ChTPZ" for heating pipe billets in front of the firmware. The problems arising during the operation of the heat unit are analyzed. To assess the effectiveness of the existing heating system, the thermal balance of the methodic furnace was compiled. In the course of the analysis of the results of computational studies, the shortcomings of existing furnace systems and assemblies are revealed. In order to improve the quality of metal heating, it is proposed to install a pass-through heating furnace heated by means of regenerative burners and a metal transportation system in place of the existing furnace, which provides more uniform heating, both along the length and thickness of the workpieces. When implementing the proposed measures, a significant economic effect is expected, which is confirmed by the heat balance of the feed-through furnace given in the article. In addition, to simulate the distribution of temperature and gas-dynamic flows within the working space of the proposed feed-through furnace, a computer simulation was performed to estimate the uniformity of heating of the metal.

Key words: *methodical heating furnace; regenerative burner-lantern device; energy saving; a through furnace; heat balance.*

Высокая производительность прокатных и трубопрокатных станов и хорошее качество готовой продукции возможно только при наличии мощных нагревательных печей, хорошо подогревающих металл с минимальным окислением и обезуглероживанием. Данные условия выполняются при условии использования кольцевых печей, которые состоят из вращающегося пода и неподвижной части, представляющий собой кольцевой канал, перекрытый сводом. Кольцевые печи применяют, как правило, для нагрева заготовок при прокатке труб, колёс и бандажей железнодорожного подвижного состава. Цель нагрева – получение структуры, обеспечивающей заданные физические и рабочие свойства, или придания этим материалам пластичности, необходимой для последующей механической обработки [1-13].

В настоящее время в трубопрокатном цехе №1 ПАО «ЧТПЗ» работает методическая печь для нагрева трубных заготовок под прошивку. Методическая печь представляет собой конструкцию с монолитным наклонным подом и двухрядным расположением слитков. Печь непрерывного действия с противоточным движением нагреваемых заготовок и продуктов сгорания в рабочем пространстве имеет три отапливаемые зоны.

При эксплуатации данной печи выявлены следующие проблемы: высокий удельный расход топлива, высокие температуры наружных поверхностей стен и свода, низкая скорость нагрева заготовки, большой объем подсосов воздуха в рабочее пространство печи. Кроме того, конструкция газогорелочных устройств не предусматривает возможности регулирования подачи газа в большом диапазоне нагрузок, а тепловая энергия отходящих газов практически не используется.

Проведенные с целью определения динамики нагрева заготовок ОАО «Уралэнергочермет» балансовые испытания на методической печи выявили, что печь работает с низким КПД, обусловленным перебоями в работе стана и состоянием футеровки печи [14]. Тепловой баланс существующей конструкции печи, рассчитанный по теплотехническим параметрам ее работы во время нагрева контрольной заготовки, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Тепловой баланс существующей методической печи

№	Приход тепла	кВт	%	№	Расход тепла	кВт	%
1	Химическое тепло топлива	17 513	95,58	1	Тепло на нагрев металла	4 679	25,54
2	Физическое тепло воздуха	287	1,56	2	Тепло уходящих продуктов сгорания	9 218	50,31
3	Тепло окисления металла	523	2,86	3	Потери тепла излучением через открытые окна	1 028	5,60
	Итого приход	18 324	100	4	Потери тепла кладкой	2 867	15,65

№	Приход тепла	кВт	%	№	Расход тепла	кВт	%
				5	Потери тепла с окалиной	163	0,89
				6	Неучтённые потери	386	2,01
					Итого расход	18 324	100

На основе представленных в табл. 1 статей теплового баланса целесообразно сделать следующие выводы:

1. Система отопления печи в существующем состоянии не может эффективно функционировать, поэтому необходима ее реконструкция.

2. Существующие на печи заслонки (на загрузке, выдаче) не обеспечивают требуемой герметичности рабочего пространства, что приводит к повышенному подосу воздуха в рабочее пространство, и, как следствие, к увеличению угара металла. Кроме того, подсосы окружающего воздуха вынуждают держать в рабочем пространстве неоправданно высокие температуры, что также повышает угар металла.

3. Исследования нагрева металла, проведенные сотрудниками ОАО «Уралэнергочермет», показали, что металл в конце сварочной зоны уже готов к выдаче, а значит в томильной зоне практически не получает тепла, а только дополнительно окисляется.

4. Наружные поверхности стен печи имеют очень высокие температуры, достигающие до 600 °С (данные ОАО «Уралэнергочермет»).

5. Заготовки по ширине печи греются неравномерно.

6. Во время вынужденных простоев не удается снизить окалинообразование с помощью изменения температурного режима.

При разработке конструкции новой проходной печи необходимо было разработать решения, которые позволят:

- снизить удельный расход топлива;
- улучшить качество нагрева заготовки, обеспечить равномерность ее нагрева по сечению;
- снизить потери вследствие окалинообразования;
- автоматизировать систему управления нагревом;
- усовершенствовать систему транспортировки металла в печи;
- снизить температуру наружных поверхностей стен, свода и др.

Для достижения указанных задач предложено установить на месте существующей методической печи проходную толкательную печь с транспортировкой металла на подвижных тележках (рис. 1).

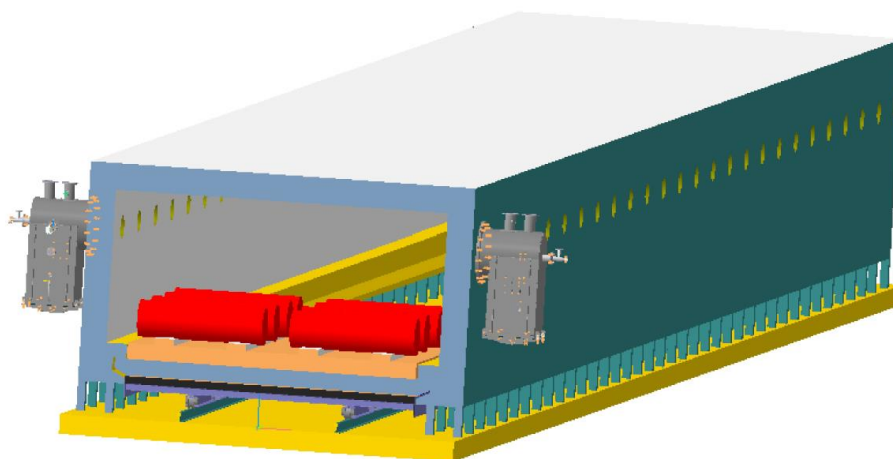


Рис. 1. 3D-модель нагревательной печи

Проект новой печи предусматривает применение на боковых стенах и своде печи панелей, футерованных волокнистыми огнеупорами с температурой применения 1425 °С, а также систему транспортировки металла, заключающуюся в перемещении заготовок по рельсовым путям на специальных тележках.

При эксплуатации печи основной и самой важной проблемой является потеря тепловой энергии. Поэтому потенциал энергосбережения в данном случае может быть очень велик, а использование этого потенциала сократит издержки предприятия. Для повышения тепловых показателей работы печи было решено использовать регенеративные горелочные устройства.

Для оценки энергоэффективности предложенных мероприятий был составлен тепловой баланс печи после реконструкции [15-18, 20], который представлен в таблице 2.

Таблица 2

Тепловой баланс после реконструкции печи ТПЦ-2 ОАО «ЧТПЗ»

№	Приход тепла	кВт	%	№	Расход тепла	кВт	%
1	Химическое тепло топлива	7558	75,4	1	Тепло на нагрев металла	4373,2	43,6
2	Физическая теплота подогретого воздуха	2469,1	24,6	2	Тепло уходящих продуктов сгорания	4586	45,7
	Итого приход	10027,1	100	3	Потери тепла излучением через открытые окна	420,2	4,2
				4	Потери тепла кладкой	647,8	6,5
					Итого расход	10027,1	100

При осуществлении мер по техническому перевооружению можно получить следующие положительные результаты:

1. При увеличении температуры подогрева воздуха за счет использования регенеративных горелок возрастает вторая статья теплового баланса – физическая теплота подогретого воздуха, что повлияло на уменьшение расхода топлива.

2. При замене использования волокнистой футеровки значительно снижаются потери теплопроводностью через под, свод и стенки.

3. При использовании не водоохлаждаемых перегородок потерь с охлаждающей водой не будет, что дает положительный эффект в тепловой работе.

4. После проведения реконструкции печи повышается суммарный (на 18,1 %) и тепловой (на 31 %) КПД печи, а также снижается удельный расход топлива (на 62,3 кг усл. т/т).

Дополнительно выполнен инженерный анализ (CAE, Computer Aided Engineering) теплового и газодинамического режима внутри рабочего пространства обновленной конструкции нагревательной печи. В частности, в пакете ANSYS Fluent методом компьютерного моделирования были рассчитаны температурные поля газообразных продуктов горения в объеме рабочего пространства и внутри заготовок, а также распределение скоростей газообразных потоков в рабочем пространстве. Фрагменты результатов представлены на рисунках 2 и 3.

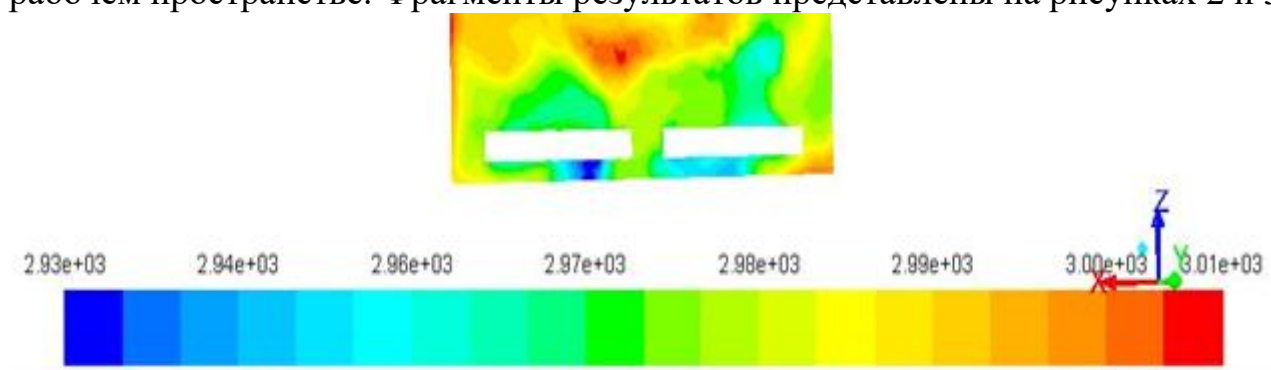


Рис. 2. Распределение температурных полей внутри рабочего пространства проходной печи (поперечный разрез рабочего пространства печи)

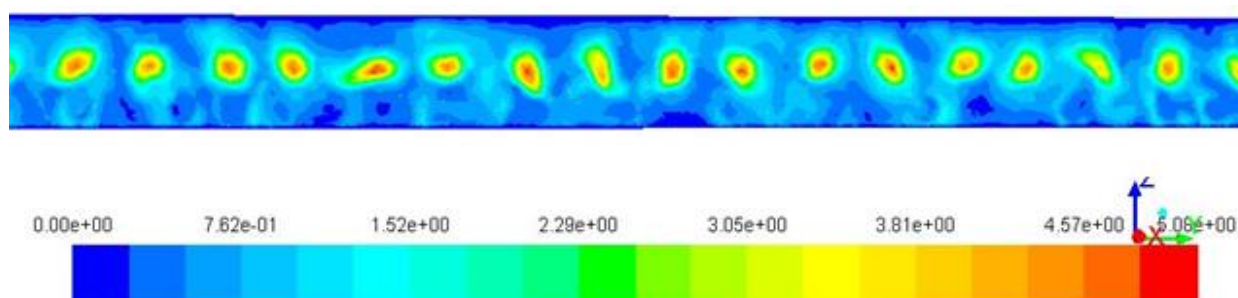


Рис. 3. Распределение скоростных потоков (продольный разрез рабочего пространства печи)

На основе результатов компьютерного моделирования можно сделать вывод о том, что распределение температурных и скоростных полей внутри рабочего пространства печи носит равномерный характер и обеспечивает заданный тепловой и газодинамический режимы работы печи.

Таким образом, предложенные мероприятия по реконструкции печи ТПЦ–2 ПАО «ЧТПЗ» позволят повысить технико-экономические показатели ее работы, в частности сократить расхода топлива и увеличить тепловой КПД.

Список использованных источников

1. The main trends in reconstruction of ring furnace for billet heating / G.M. Druzhinin, I.M. Distergeft, V.A. Leont'ev, P.V. Maslov, V.I. Lobanov // *Stal'*. Iss. 3. 2005. Pp. 65-67.
2. Andreev S.M., Parsunkin B.N. Billet heating control fuel-saving solution in the rolling mill furnace // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 – Proceedings, 19 October 2017, article № 8076167.
3. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Bushmanova M.V. Optimization of controlling the thermal conditions of heating furnaces // *Stal'*. Iss. 9. 2003. Pp. 65-67.
4. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Nuzhin D.V., Volkov A.V. Information employed in fuel-conserving control of metal heating // *Steel in Translation*. Vol. 37. Issue 9. September 2007. Pp. 792-796.
5. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Zhadinskii D.Yu. Energy-saving heating of continuous-cast billet // *Steel in Translation*. Vol. 37. Issue 4. April 2007. Pp. 384-387.
6. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Requirements in energy-saving metal heating // *Steel in Translation*. Vol. 32. Issue 2. 2002. Pp. 37-41.
7. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Logunova O.S., Akhmetov T.U. Energy-saving optimal control over heating of continuous cast billets // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 79, Issue 9-12. 27 August 2015. Pp. 1797-1803.
8. Andreev S.M., Bushmanova M.V., Parsunkin B.N. Optimal thermal-load distribution over the zones of a continuous furnace to minimize fuel costs // (2000) *Electrical-engineering Systems: An Interuniversity Collection*. MGTU, Magnitogorsk. 5. Pp. 301-307.
9. Variations on billet gas consumption intensity of reheating furnace in different production states / D. Chen, B. Lu, F. Dai, G. Chen, W. Yu // *Applied Thermal Engineering*. Vol. 129. 25 January 2018. Pp. 1058-1067.
10. Guangjun C. The problem and energy-saving of reheating furnace // *Energy Metall. Indust.* 2008. 27. Pp. 32-35.
11. Steinboeck A., Wild D., Kugi A. Energy-efficient control of continuous reheating furnaces // *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*. Vol. 15. Issue PART 1. 2013. Pp. 359-364.

12. Lu B., Chen D., Chen G., Yu W. An energy apportionment model for a reheating furnace in a hot rolling mill – A case study // Applied Thermal Engineering. Vol. 112. 5 February 2017. Pp. 174-183.
13. Dong W., Chen H. Strategy of rolling delay on reheating furnace // Iron and Steel (Peking), 2004. 39 (1). Pp. 55-58.
14. Технический отчет по работе «Проведение балансовых испытаний методической печи ТПЦ№1 для нагрева заготовок из стали 09Г2С. – Екатеринбург: ОАО «Уралэнергочермет». 2014. – 42 с.
15. Китаев Б.И., Зобнин Б.Ф., Ратников В.Ф. [и др.]. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Под общей ред. А.С. Телегина. – М: Металлургия, 1970. – 528 с.
16. Зобнин Б.Ф., Казяев М.Д., Китаев Б.И., Лисиенко В.Г., Телегин А.С., Ярошенко Ю.Г. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Изд. 2-е. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.
17. Гордон Я.М., Зобнин Б.Ф., Казяев М.Д., Китаев Б.И. [и др.]. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Изд. 3-е. – М.: Металлургия, 1993. – 368 с.
18. Гущин С.Н. [и др.]. Теория и практика теплогенерации: учебник / Под ред. В.И. Лобанова и С.Н. Гущина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 379 с.
19. Гущин С.Н., Зайнуллин Л.А., Казяев М.Д., Юрьев Б.П., Ярошенко Ю.Г. Топливо и расчеты его горения учебное пособие / Под ред. Ю. Г. Ярошенко. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2007. – 105 с.
20. Расчет нагревательных и термических печей: Справ. изд. / Под ред. Тымчакова В.М. и Гусовского В.Л. Авт.: Василькова С.Б., Генкина М.М., Гусовский В.Л., Лифшиц А.Е., Масалович В.Г., Перимов А.А., Спивак Э.И., Тымчак В.М. – М.: Металлургия, 1983. – 480 с.

УДК 669.162.12:622.782:536.242

Б. П. Юрьев, В. А. Дудко

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ПРИ ОБЖИГЕ СИДЕРИТОВОЙ РУДЫ

Аннотация

С использованием дериватографа ОД – 102 проведено изучение процесса диссоциации порошкообразной и кусковой сидеритовой руды в атмосферах гелия, диоксида углерода и воздуха. Получены зависимости степени и скорости диссоциации от температуры путем обработки дериватограмм. С использованием комплексного метода получены кинетические уравнения диссоциации порошков из сидеритовой руды. Установлено, что найденные закономерности сохраняются и для кусковых материалов, но при этом температурные интервалы раз-